

УДК 630\*524.39

В. А. Усолец  
(Уральский государственный лесотехнический университет),  
В. А. Галако, А. И. Колтунова  
(Ботанический сад УрО РАН)

## СОВМЕЩЕНИЕ МОДЕЛЕЙ ФИТОМАССЫ ЛЕСООБРАЗУЮЩИХ ПОРОД СРЕДНЕГО УРАЛА С ДАННЫМИ ЛЕСОУСТРОЙСТВА

*Выполнено поисковое исследование возможности сопряжения экспериментальных данных фракционного состава фитомассы древостоев со сводными таксационными характеристиками лесного фонда на примере четырех лесхозов Свердловской области.*

Если первые попытки оценки запасов фитомассы (углерода) на лесопокрытых площадях осуществлялись путем простой экстраполяции данных фитомассы пробных площадей на тот или иной лесной регион, обычно с существенным завышением результата (Родин, Базилевич, 1965; Olson et al., 1983; Kolchugina, Vinson, 1993), то сегодня уже никто не отрицает необходимости таких оценок с использованием данных лесоустройства.

При оценках запасов углерода, депонируемого в лесной фитомассе, как на региональном (Макаревский, 1991), так и на национальном (Исаев и др., 1993; Алексеев, Бердси, 1994) уровнях, использовались сводные по региону или стране данные лесоустройства, включающие распределение площадей и запасов древесины по породам и возрастным группам. В соответствии с исходной лесоустроительной базой запасы фитомассы рассчитывали путем "взвешивания" переводного коэффициента фитомассы (отношения фитомассы к запасу древесины,  $\text{т/м}^3$ ), среднестатистического для породы и возрастной группы, в соответствии с распределением площадей и запасов по породам и возрастным группам.

Наиболее продвинутый подход при экстраполяции экспериментальных данных фитомассы на лесопокрытую площадь России реализован А. З. Швиденко с соавт. (1997, 1999, 2000). Поскольку в сводные данные госучета лесов по лесхозам входят запасы древесины, возраст, бонитет и относительная полнота, они рассчитывают многофакторные модели переводных коэффициентов, включая в качестве регрессоров последние три из упомянутых показателей, и совмещают их со сводными данными лесоустройства по каждому экорегиону.

При оценке запасов углерода на уровне лесничества и лесхоза исходная база лесоустроительных данных представлена повыделной информацией, раньше представляемой только на бумаге, а в последнее время дублируемой на магнитных носителях. В нее входят таксационные показатели выделов: площадь и запас древесины, а также возраст, высота (бони-

тет) и полнота (абсолютная и относительная). Первые расчеты запасов фитомассы на уровне таксационных выделов были выполнены для территории Верхнеуссурийского стационара на площади 4,5 тыс. га (21 квартал). Переводные коэффициенты (для массы крон и стволов отдельно), полученные по данным 40 пробных площадей и усредненные для каждой породы без учета возраста, высоты, диаметра и полноты, умножались на долевой запас древесины в каждом выделе. В итоге получены значения надземной фитомассы (т/га и т) вначале для каждого выдела, затем для квартала и наконец для всей территории стационара (Опритова, 1982; Опритова и др., 1982).

Подобное усреднение переводного коэффициента дает смещения оценок фитомассы вследствие игнорирования массообразующих таксационных показателей древостоев, особенно существенные, когда не учитывается их возраст (Усольцев, 1998). Наш подход основан на применении многофакторных моделей фитомассы, путем стыковки которых с повыдельными таксационными данными каждый выдел дополняется характеристикой фракционного состава фитомассы.

Далее путем совмещения базы лесоустroительных данных, записанных на магнитном носителе, с системой управления базами данных (СУБД PARADOX-4,5) нами было выполнено структурирование (сортировка) повыдельной информации. Структурирование повыдельных данных с использованием СУБД дает в итоге многовходовую матрицу распределения таксационных показателей для каждой породы, а табулирование по ней многофакторных моделей фитомассы – взвешенную по основным таксационным показателям фитомассу или углерод, задепонированный на лесопокрывтой площади лесхоза (Усольцев, 1998; Усольцев, Сальников, 1998).

Подобный подход перспективен при расчетах территориального распределения и картировании углеродного пула лесопокрывтых площадей по принципу “от частного – к общему”, т. е. с иерархией от уровня лесничества и лесхоза до национального. Однако сегодня лесоустroительной информацией на магнитных носителях располагают далеко не все лесхозы (по Свердловской области – лишь половина их общего числа), а традиционные итоговые сводки в таксационных описаниях по лесхозам представлены одномерными распределениями: в распределение по классам возраста (возрастным группам) включены древостои всех бонитетов и полнот, в распределение по классам бонитета – древостои всех возрастов и полнот и т. д.

Подобный характер упомянутых распределений является фактором, ограничивающим возможность корректной экстраполяции экспериментальных данных фитомассы на территорию региона. Тем не менее в настоящей работе предпринята попытка на примере четырех лесхозов Сверд-

Таблица 1

Таксационная характеристика лесопокрытых площадей  
четырех лесхозов Свердловской области

Порода	А	Б	Н	D*	N*	G*	ОП		М	Общий М
							(1)*	(2)		
Верх-Исетский лесхоз										
Сосна	105	II,2	24,8	35,0	303	29,2	0,80	0,72	319	7084,1
Ель	121	III,1	23,0	27,5	378	22,5	0,63	0,67	231	54,1
Пихта	81	II,3	21,0	26,0	542	28,8	0,83	0,72	273	3,0
Лиственница	82	I,3	24,4	29,5	332	22,7	0,63	0,63	246	3,5
Кедр	13	II,6	4,0	4,5	3370	5,3	0,43	0,57	15	0,2
Береза	66	II,5	17,5	22,8	549	22,4	0,68	0,75	183	1459,2
Осина	49	II,2	15,3	19,1	984	28,2	0,89	0,87	204	46,0
Ольха серая	44	IV,4	8,0	12,5	1040	12,8	0,55	0,64	55	0,5
Ольха черная	67	III,6	14,5	15,0	821	14,5	0,47	0,66	100	0,4
Тополь	32	II,7	17,0	20,0	675	21,2	0,64	0,65	167	0,5
Итого										8651,5
Уралмашевский лесхоз										
Сосна	97	II,6	22,6	34,5	286	26,7	0,75	0,75	271	10552,8
Ель	131	III,5	21,5	27,8	404	24,5	0,70	0,69	238	351,7
Пихта	107	II,8	22,8	26,8	449	25,3	0,71	0,72	259	10,8
Лиственница	95	I,8	25,0	34,0	244	22,1	0,61	0,67	244	27,7
Кедр	191	IV,6	18,0	34,9	270	25,9	0,77	0,62	217	5,9
Береза	52	II,4	15,4	19,0	746	21,1	0,67	0,74	153	2174,7
Осина	36	II,1	12,0	13,6	1627	23,6	0,81	0,74	141	31,6
Ольха серая	45	IV,0	9,2	12,7	1363	17,4	0,67	0,64	85	0,6
Ольха черная	50	IV,0	10,0	9,5	2857	20,2	0,75	0,76	105	0,2
Липа	53	II,6	14,8	13,0	1700	22,6	0,72	0,76	158	3,9
Ива	11	II,9	7,3	7,6	4630	21,0	0,70	0,70	63	0,1
Итого										13160,0
Городской лесхоз										
Сосна	104	II,4	24,0	35,0	330	31,8	0,88	0,74	339	2855
Ель	81	III,4	17,0	26,0	571	30,3	0,92	0,75	239	0,1
Лиственница	45	Ia,5	19,0	20,0	970	30,4	0,89	0,81	264	6,4
Береза	71	II,7	18,0	23,7	548	24,2	0,72	0,75	202	473
Осина	43	I,8	15,0	16,5	1355	29,0	0,92	0,76	207	3,9
Ольха серая	53	III,7	11,5	15,0	1080	19,1	0,67	0,56	110	0,2
Ольха черная	73	III,8	14,5	13,6	1738	25,2	0,81	0,78	174	1,2
Липа	18	II,6	5,5	6,0	6790	19,2	1,00	0,48	72	0,1
Ива	16	IV,8	8,0	9,5	2160	15,0	0,73	0,73	33	0,5
Итого										3340,4

Окончание табл. 1

Порода	А	Б	Н	D*	N*	G*	ОП		М	Общий М
							(1)*	(2)		
Учебно-опытный лесхоз УГЛТУ										
Сосна	95	III,6	18,8	33,2	383	33,2	1,00	0,76	293	4455,7
Ель	108	III,4	20,8	26,8	346	19,5	0,56	0,70	183	311,3
Пихта	86	III,0	19,7	26,1	382	20,4	0,60	0,62	185	14,2
Лиственница	101	II,2	24,5	34,5	238	22,2	0,62	0,68	240	38,1
Береза	69	II,5	18,2	23,4	537	23,1	0,69	0,77	193	1377,5
Осина	48	II,2	14,8	18,6	1028	27,9	0,89	0,84	195	98,5
Ольха серая	50	III,8	10,6	14,2	784	12,4	0,45	0,50	67	2,7
Ольха черная	87	IV,0	16,0	16,0	802	16,1	0,51	0,61	121	2,3
Липа	22	II,8	6,4	6,0	4600	13,0	0,67	0,68	50	3,1
Итого										6303,4

Примечание. А – возраст, лет; Б – класс бонитета; Н – средняя высота, м; D – средний диаметр, см; N – число стволов, экз/га; G – сумма площадей сечений, м<sup>2</sup>/га; ОП(1)\* – средняя относительная полнота, рассчитанная по стандартной таблице ЦНИИЛХ; ОП(2) – то же, данные лесоустройства; М – запас древесины, м<sup>3</sup>/га; общий М – общий запас древесины в лесхозе, тыс. м<sup>3</sup>. Звездочками отмечены расчетные показатели.

ловской области состыковать экспериментальные данные фитомассы, представленные в виде региональных эмпирических многофакторных ее моделей (Усольцев, 2001), с лесоустроительными данными, представленными в каждом лесхозе средними для породы таксационными показателями и итоговыми значениями запасов древесины (табл. 1), и получить в первом приближении структуру фитомассы на всей лесопокрытой площади.

Не вдаваясь в обоснование структуры многофункциональных эмпирических моделей фитомассы, отметим лишь, что они включают в число регрессоров основные массообразующие показатели древостоев. Поскольку установлено, что полнота (как абсолютная, так и относительная), получившая распространение в традиционной лесной таксации в качестве характеристики плотности стояния деревьев при оценке запаса древесины, не оправдывает своего применения при оценке массы древесного полога (Усольцев, 1998), ее приходится расчленять на составляющие – средний диаметр и густоту.

Последняя же согласно действующей лесоустроительной инструкции (Инструкция..., 1995) не входит в состав как таксационной характеристики отдельного выдела, так и сводной по лесхозу характеристики (выделяемой хозсекции). С целью унификации и возможности получения сводных по региону и стране характеристик лесосечного фонда лесоустроительной инструкцией предписывается использование в таксационных расчетах обще-

бонитировочной шкалы М. М. Орлова и стандартной таблицы ЦНИИЛХ, что дает возможность получения упомянутых недостающих таксационных показателей расчетным путем.

Обычно не включается в сводные ведомости и значение таксационного диаметра стволов, среднего по хозсекции, хотя в карточку таксации выдела оно должно заноситься (Инструкция..., 1995; прил. 8). Поэтому в нашем случае последний из упомянутых показателей (см. табл. 1) взят из таблиц хода роста (ТХР) модальных древостоев для уральского региона (Лесотаксационный справочник..., 1991). Средняя высота древостоев рассчитана по средним значениям возраста и класса бонитета с использованием бонитетной шкалы М. М. Орлова и по соотношению средней высоты и запаса древесины, взятому из стандартной таблицы ЦНИИЛХ, получена средняя абсолютная и относительная полнота.

Здесь следует обратить внимание на расхождение относительных полнот, даваемых лесоустройством и рассчитанных нами по таблице ЦНИИЛХ. Аналогичную картину можно наблюдать и в таблицах возрастной динамики таксационных показателей модальных древостоев, составленных для Кежемского лесхоза Красноярского края в Среднем Приангарье (Соколов, Хиневич, 1994). Поскольку лесоустроительной инструкцией (Инструкция..., 1995) допускается определение полноты древостоя на выделе глазомерно, измерение ее полнотомером обычно не практикуется, что, по-видимому, и является причиной упомянутого расхождения в полнотах. В нашем примере для получения значения средней густоты использована относительная полнота, рассчитанная по таблице ЦНИИЛХ.

Нам могут задать вопрос, почему, используя ТХР модальных древостоев для расчета запасов фитомассы на лесопокрытой площади, мы берем из них только значение среднего диаметра, игнорируя остальные массообразующие показатели? Выше уже отмечалось, что ввиду ряда неопределенностей, обусловленных недоработкой нормативной базы лесоустройства в плане сопряжения его данных с моделями фитомассы, предпринятый нами расчет имеет поисковый характер и результаты его можно рассматривать в качестве лишь первого приближения. Во всяком случае взятие всего таксационного набора из ТХР модальных древостоев не позволило бы нам согласовать между собой показатели ТХР и сводных по лесхозу таблиц, поскольку любые ТХР представляют собой достаточно жесткую схему, не предназначенную для характеристики всех ситуаций, возможных при сведении данных лесоинвентаризации.

Конечно, здесь возможны и иные варианты расчета. Вопрос отпадает при выводе в итоговую ведомость значения среднего диаметра, который, как уже упоминалось, должен заноситься в карточку таксации выдела.

Пока мы не можем сказать, какими смещениями оценок фитомассы обернется возможное несоответствие значений среднего диаметра, взятых из ТХР и фактических (но неизвестных), но полагаем, что данная неопре-

деленность все же вторична и методически устранима, тогда как соблюдение корректности структуры эмпирической модели фитомассы имеет принципиальное значение. Некорректность модели нельзя компенсировать никакими усовершенствованиями последующих расчетных процедур.

Общая покрытая лесом площадь Верх-Исетского, Уралмашевского, Городского и Учебно-Опытного лесхозов составляет соответственно 30791, 55023, 10408 и 24924 га. В результате совмещения моделей фитомассы с таксационными показателями табл. 1 рассчитаны фракционный состав и общие показатели фитомассы насаждений (табл. 2). Средние запасы общей фитомассы варьируют по упомянутым лесхозам незначительно и составляют соответственно 198, 174, 223 и 189 т/га. В общей фитомассе доля сосны колеблется по лесхозам в пределах 69-83%, доля березы – 16-23 %, а общее их участие в фитомассе всех насаждений составляет 92-99 %. Различия лесхозов по фракционному составу фитомассы также незначительны: доля хвой (лишвы) находится в пределах 2,3-2,9, корней – 20-21 и нижних ярусов (подлесок, подрост, напочвенный покров) – 9-10 % от общей фитомассы.

Таблица 2

Распределение фитомассы насаждений в лесном фонде лесхозов по породам и фракционному составу

Порода	Фитомасса абсолютно сухая, тыс. т							
	Ствол в коре	Кора ствола	Хвоя	Ветви	Надземная	Корни	Нижние ярусы	Всего
<b>Верх-Исетский лесхоз</b>								
Сосна	2914,0	155,0	112,0	373,0	3399,0	908,3	525,4	4832,7
Ель	23,7	2,0	1,9	2,7	28,3	8,4	0,3	37,0
Пихта	1,2	0,1	0,1	0,2	1,5	0,2	-	1,7
Лиственница	1,9	0,2	0,1	0,2	2,2	0,5	-	2,7
Кедр	0,1	-	0,1	0,1	0,3	0,1	-	0,4
Береза	772,7	116,0	27,7	113,0	913,4	258,4	3,6	1175,4
Осина	23,3	3,4	0,7	4,0	28,0	20,0	0,4	48,4
Ольха серая	0,2	-	-	0,1	0,3	0,1	-	0,4
Ольха черная	0,2	-	-	-	0,2	0,1	-	0,3
Тополь	0,2	-	-	-	0,2	0,1	-	0,3
Итого	3737,5	276,7	142,6	493,3	4373,4	1196,3	529,7	6099,3
<b>Уралмашевский лесхоз</b>								
Сосна	4315,0	241,0	192,0	631,0	5138,0	1417,0	919,0	7474,0
Ель	154,7	12,9	12,7	18,5	185,9	57,3	2,3	245,5
Пихта	4,3	0,5	0,4	0,8	5,5	0,8	-	6,3

Окончание таблицы 2

Порода	Фитомасса абсолютно сухая, тыс. т							
	Ствол в коре	Кора ствола	Хвоя	Ветви	Надземная	Корни	Нижние ярусы	Всего
Лиственница	15,5	1,7	0,4	1,3	17,2	3,6	0,4	21,2
Кедр	3,0	0,4	0,2	0,6	3,8	1,1	0,1	5,0
Береза	1148,0	179,0	45,5	168,0	1361,5	427,8	6,1	1795,4
Осина	15,8	2,5	0,6	3,0	19,4	15,8	0,4	35,6
Ольха серая	0,2	-	-	0,1	0,3	0,1	-	0,4
Ольха черная	0,1	-	-	-	0,1	-	-	0,1
Липа	1,6	0,3	0,1	0,4	2,1	1,0	-	3,1
Ива	0,1	-	-	-	0,1	-	-	0,1
Итого	5658,3	438,3	251,9	823,7	6733,9	1924,5	928,3	9586,7
Городской лесхоз								
Сосна	1166,0	63,2	46,3	154,0	1366,3	368,9	202,9	1938,1
Ель	-	-	-	-	-	-	-	-
Лиственница	3,5	0,4	0,1	0,4	4,0	0,7	0,1	4,8
Береза	250,3	36,8	8,8	36,5	295,6	81,0	1,1	377,7
Осина	2,0	0,3	0,1	0,3	2,4	1,6	-	4,0
Ольха серая	0,1	-	-	-	0,1	-	-	0,1
Ольха черная	0,5	0,1	-	0,1	0,6	0,2	-	0,8
Липа	-	-	-	-	-	0,1	-	0,1
Ива	0,2	-	-	-	0,2	0,1	-	0,3
Итого	1422,6	100,8	55,3	191,3	1669,2	452,6	204,1	2325,9
Учебно-опытный лесхоз УГЛТУ								
Сосна	1787,0	106,0	95,0	315,0	2197,0	641,7	405,4	3244,1
Ель	136,8	11,6	11,8	16,8	165,4	50,7	2,4	218,5
Пихта	5,5	0,7	0,7	1,2	7,4	1,1	-	8,5
Лиственница	21,3	2,4	0,5	1,8	23,6	5,1	0,6	29,3
Береза	729,4	108,0	25,2	106,0	860,6	236,2	3,1	1099,9
Осина	49,9	7,3	1,5	8,8	60,2	44,4	0,9	105,5
Ольха серая	1,1	0,2	-	0,2	1,3	0,6	0,1	2,0
Ольха черная	1,1	0,2	-	0,1	1,2	0,6	0,1	1,9
Липа	1,2	0,2	0,3	0,5	2,0	1,3	0,1	3,4
Итого	2733,3	236,6	135,0	450,4	3318,7	981,7	412,7	4713,1

В проблеме экстраполяции экспериментальных данных фитомассы, полученных на пробных площадях, на лесопокрытую площадь остается пока много неопределенностей. Во-первых, насколько корректен перенос информации о фитомассе и таксационных данных с пробных площадей на лесопокрытую площадь, характеризующую сводными таксационными характеристиками? Во-вторых, остается открытым вопрос оптимизации структуры эмпирических моделей фитомассы: какие показатели должны включаться в качестве регрессоров? В-третьих, остается нерешенным вопрос адаптации лесоустроительной инструкции к решению современных экологических и биосферных проблем. Наконец, всегда была и остается проблема точности самой базы лесоустроительных данных, но здесь альтернативы нет, поскольку система госучета лесов у нас одна. Есть и другие нерешенные методические и организационные вопросы, влияющие в конечном счете на точность результата.

Что касается темы настоящей статьи, то в дальнейшем, видимо, следует принять в качестве контрольного варианта оценку фитомассы на основе пывидельного банка лесоустроительных данных, структурированного в виде многовходовых матриц, сопоставляя с ним в рамках одного и того же лесхоза упрощенные варианты, подобные изложенному выше.

## ЛИТЕРАТУРА

Алексеев В. А., Бердси Р. А. Углерод в экосистемах лесов и болот России. - Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева, 1994. 224 с.

Инструкция по проведению лесоустройства в лесном фонде России. Ч. 1: Организация лесоустройства. Полевые работы. М.: ВНИИЦлесресурс, 1995. 175 с.

Исаев А. С. и др. Оценка запасов и годовичного депонирования углерода в фитомассе лесных экосистем России // Лесоведение. 1993. № 5. С. 3-10.

Лесотаксационный справочник для лесов Урала. М.: Госкомлес СССР, 1991. 483 с.

Макаревский М. Ф. Запасы и баланс органического углерода в лесных и болотных биогеоценозах Карелии // Экология. 1991. № 3. С. 3-10.

Опритова С.В. Опыт определения надземной фитомассы древостоев в речных бассейнах // Биогеоценологические исследования в лесах Южно-го Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 118-124.

Опритова С.В., Глаголев В.А., Розенберг В.А. О возможности определения надземной фитомассы лесов по материалам лесоустройства // Биогеоценологические исследования в лесах Южного Сихотэ-Алиня. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1982. С. 71-83.



Родин Л.Е., Базилевич Н.И. Динамика органического вещества и биологический круговорот зольных элементов и азота в основных типах растительности земного шара. М.; Л.: Наука, 1965. 253 с.

Соколов В. А., Хиневич Л. А. Динамика южно-таежных лесов // Структура и динамика таежных лесов. Новосибирск: Наука, 1994. С. 146-157.

Усольцев В. А. Формирование банков данных о фитомассе лесов. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1998. 541 с.

Усольцев В. А. Фитомасса лесов Северной Евразии: база данных и география. Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 2001. 708 с.

Усольцев В. А., Сальников А. А. Новый метод оценки запасов органического углерода в лесных экосистемах // Экология. 1998. № 1. С. 3-13.

Швиденко А. З., Нильссон С. Динамика лесов России в 1961-1993 годах и глобальный углеродный бюджет // Лесная таксация и лесоустройство. Красноярск: КГТА, 1997. С. 15-23.

Швиденко А. З. и др. Система моделей для общей оценки фитомассы в лесах России // Методы оценки состояния и устойчивости лесных экосистем: Тез. докл. Красноярск: Ин-т леса СО РАН, 1999. С. 152.

Швиденко А. З. и др. Опыт агрегированной оценки основных показателей биопродукционного процесса и углеродного бюджета наземных экосистем России. 1: Запасы растительной органической массы // Экология. 2000. № 6. С. 411-418.

Kolchugina T.P., Vinson T.S. Equilibrium analysis of carbon pools and fluxes of forest biomes in the former Soviet Union // Can. J. For. Res. 1993. Vol. 23. P. 81-88.

Olson J.S., Watts J.A., Allison L.J. Carbon in life vegetation of major world ecosystems. ORNL-5862. Oak Ridge National Laboratory. Tennessee. 1983. 152 p.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (гранты № 00-05-64532 и 01-04-96424)*